

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2003 年 3 月 20 日 (20.03.2003)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 03/023874 A1

(51) 国際特許分類: H01L 41/24, 41/08

(21) 国際出願番号: PCT/JP02/09297

(22) 国際出願日: 2002 年 9 月 11 日 (11.09.2002)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願2001-275598 2001 年 9 月 11 日 (11.09.2001) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 日本碍子株式会社 (NGK INSULATORS, LTD.) [JP/JP]; 〒467-8530 愛知県名古屋市瑞穂区須田町 2 番 5 6 号 Aichi (JP).

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 池田 幸司

(IKEDA, Koji) [JP/JP]; 〒467-8530 愛知県名古屋市瑞穂区須田町 2 番 5 6 号 日本碍子株式会社内 Aichi (JP). 柴田 和義 (SHIBATA, Kazuyoshi) [JP/JP]; 〒467-8530 愛知県名古屋市瑞穂区須田町 2 番 5 6 号 日本碍子株式会社内 Aichi (JP). 伊藤 智輝 (ITO, Tomoki) [JP/JP]; 〒467-8530 愛知県名古屋市瑞穂区須田町 2 番 5 6 号 日本碍子株式会社内 Aichi (JP).

(74) 代理人: 千葉 剛宏, 外 (CHIBA, Yoshihiro et al.); 〒151-0053 東京都渋谷区代々木 2 丁目 1 番 1 号 新宿マインズタワー 1 6 階 Tokyo (JP).

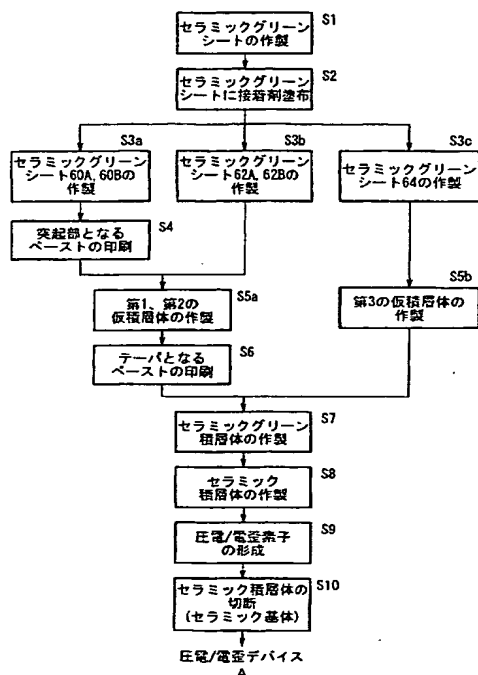
(81) 指定国 (国内): CN, JP, US.

添付公開書類:
— 国際調査報告書

2 文字コード及び他の略語については、定期発行される各 PCT ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(54) Title: PIEZOELECTRIC/ELECTROSTRICTIVE MANUFACTURING METHOD

(54) 発明の名称: 圧電/電歪デバイスの製造方法



S1...FABRICATE CERAMIC GREEN SHEET
S2...APPLY ADHESIVE TO CERAMIC GREEN SHEET
S3a...FABRICATE CERAMIC GREEN SHEETS 60A, 60B
S3b...FABRICATE CERAMIC GREEN SHEETS 62A, 62B
S3c...FABRICATE CERAMIC GREEN SHEET 64
S4...PRINT PASTE LATER TO BE PROJECTING PORTION
S5a...FABRICATE FIRST AND SECOND TEMPORARY MULTILAYER BODIES
S5b...FABRICATE THIRD TEMPORARY MULTILAYER BODY
S6...PRINT PASTE LATER TO BE TAPER
S7...FABRICATE CERAMIC GREEN MULTILAYER BODY
S8...FABRICATE CERAMIC MULTILAYER BODY
S9...FABRICATE PIEZOELECTRIC/ELECTROSTRICTIVE ELEMENT
S10...CUT CERAMIC MULTILAYER BODY (CERAMIC SUBSTRATE)
A...PIEZOELECTRIC/ELECTROSTRICTIVE DEVICE

(57) Abstract: A method for manufacturing a piezoelectric/electrostrictive device (10) comprising a pair of thin-sheet portions (12a, 12b) opposed to each other, a fixing portion (14) supporting these thin-sheet portions (12a, 12b), and movable portions (22a, 22b) provided at the ends of the paired thin-sheet

[続葉有]

WO 03/023874 A1



portions (12a, 12b), comprising the steps of carrying out at least one thick-film forming process for forming thick films on one major surfaces of ceramic green sheets (60A, 60B) later to constitute the thin-sheet portions (12a, 12b) so as to form projections (72) later to constitute the movable portions (22a, 22b), stacking the ceramic green sheets (60A, 60B) and a ceramic green sheet (64) later to constitute the fixing portion (14) so as to form a ceramic green multilayer body (50), baking the ceramic green multilayer body (50) into one piece of a ceramic multilayer body (52), and fabricating a piezoelectric/electrostrictive element (18a, 18b) on the ceramic multilayer body (52), baking it, and cutting unnecessary portions, thus manufacturing a piezoelectric/electrostrictive device (10).

(57) 要約:

相対向する一対の薄板部（12a, 12b）と、これら薄板部（12a, 12b）を支持する固定部（14）と、前記一対の薄板部（12a, 12b）の先端部分に可動部（22a, 22b）を有する圧電／電歪デバイス（10）の製造方法であって、後に前記薄板部（12a, 12b）を構成するセラミックグリーンシート（60A, 60B）の一主面に、少なくとも1回の厚膜形成処理を施して、後に可動部（22a, 22b）となる突起部（72）を形成する工程と、前記セラミックグリーンシート（60A, 60B）と、後に前記固定部（14）を構成するセラミックグリーンシート（64）とを積層してセラミックグリーン積層体（50）とする工程と、前記セラミックグリーン積層体（50）を焼成一体化してセラミック積層体（52）とする工程と、前記セラミック積層体（52）上に圧電／電歪素子（18a, 18b）を形成し、焼成した後、不要な部分を切除して圧電／電歪デバイス（10）を作製する工程とを有する。

明 細 書

圧電／電歪デバイスの製造方法

5 技術分野

本発明は、相対向する一対の薄板部と、これら薄板部を支持する固定部と、前記一対の薄板部の先端部分に突起部を有するセラミック基体を具備した圧電／電歪デバイスの製造方法に関する。

10 背景技術

圧電／電歪層を用いたアクチュエータ素子やセンサ素子等の圧電／電歪デバイスでは、セラミック基体上に一方の電極層からなる配線パターンを、例えば印刷にて形成し、更にその上に、圧電／電歪層を印刷によって形成した後、焼成にて固着させ、その後、他方の電極層からなる配線パターンを形成するようにしている（例えば特開 2 0 0 1 - 3 2 0 1 0 3 号公報参照）。

そして、配線パターンに対する電気信号の供給により、圧電／電歪層に電界が印加され、その結果、当該圧電／電歪層を変位させるというアクチュエータ素子として使用される他、前記圧電／電歪層に加えられた圧力に応じて発生した電気信号を配線パターンより取り出すセンサ素子として使用することができる。

20 また、本出願人は、圧電／電歪デバイスの長寿命化、圧電／電歪デバイスのハンドリング性並びに可動部への部品の取付性又は圧電／電歪デバイスの固定性を向上させることができる圧電／電歪デバイスを提案した（例えば E P 1 0 8 9 3 5 7 A 2 公報参照）。この圧電／電歪デバイスにおいては、相対的に低電圧で可動部を大きく変位することができると共に、デバイス、特に、可動部の変位動作
25 の高速化（高共振周波数化）を達成させることができ、しかも、有害な振動の影響を受け難く、高速応答が可能で、機械的強度が高く、ハンドリング性、耐衝撃性、耐湿性に優れた変位素子、並びに可動部の振動を精度よく検出することが可能なセンサ素子を得ることができる。

この提案例に係る圧電／電歪デバイスにおいて200は、図18に示すように、固定部202及び物品204と薄板部206a及び206bとの接着に用いる接着剤208として共に流動性の高い接着剤を用いた場合であって、特に、薄板部206a及び206bに接着剤208の形成領域を区画するための突起210を設けた例が示されている。これにより、固定部202及び物品204にそれぞれ接着剤208を介して薄板部206a及び206bを接着する際に、前記突起210によって接着剤208の形成場所を規定することができるという効果を奏する。

本発明は、このような圧電／電歪デバイスにおいて、薄板部をセラミックスにて構成した場合に、突起の形成手法並びに突起の形状を最適化することで、突起の形状が薄板部の機械的特性に影響を及ぼすおそれのない高性能な圧電／電歪デバイスを作製することができる圧電／電歪デバイスの製造方法を提供することを目的とする。

15 発明の開示

本発明に係る圧電／電歪デバイスの製造方法は、相対向する一对の薄板部と、これら薄板部を支持する固定部と、前記一对の薄板部の先端部分に可動部を有する圧電／電歪デバイスの製造方法であって、後に前記薄板部を構成する第1のセラミックグリーンシートの一主面に、少なくとも1回の厚膜形成処理を施して、後に可動部となる突起部を形成する工程と、前記第1のセラミックグリーンシートと後に前記固定部を構成する第2のセラミックグリーンシートとを積層してセラミックグリーン積層体とする工程と、前記セラミックグリーン積層体を焼成一体化してセラミック積層体とする工程と、前記セラミック積層体上に前記圧電／電歪素子を形成し、焼成した後、不要な部分を切除して前記圧電／電歪デバイスを作製する工程とを有することを特徴とする。

ここで、厚膜形成処理としては、例えばスクリーン印刷、電気泳動法、刷毛塗り、転写、ディッピング法等を採用することができる。

この発明では、後に薄板部となる第1のセラミックグリーンシートの一主面に

厚膜形成処理にて突起部を形成するようにしたので、突起部の形状を様々に変えることが可能となる。従って、本発明では、セラミック材にて構成された薄板部の、突起部の形状による機械的特性への影響を抑制することができる。

これにより、その後の不要な部分の切除工程を経て圧電／電歪デバイスを作製したとき、突起部が可動部として構成されることになるが、この可動部による効果、即ち、可動部の互いに対向する端面（取付面）間に、部品を挟むように取り付ける際に、前記可動部は、取り付けに使用する接着剤の量（厚み）と位置（接着面積）を規定するための機能を果たすこととなる。また、薄板部と部品との間に介在して該部品を接着する接着剤の部分も可動部として作用することになり、該接着剤と部品との境界面も可動部の取付面として機能することになる。

そして、前記製造方法において、前記突起部の幅が $30\mu\text{m}$ 以上であることが好ましい。これにより、簡便なスクリーン印刷を用いて突起部を形成することが可能となる。

また、前記突起部の厚みが $2\sim 50\mu\text{m}$ であることが好ましい。厚みが小さすぎると、その後に可動部とした場合に、物品を取り付ける際の接着剤の制御が困難になるおそれがある。なお、突起部の厚みを $50\mu\text{m}$ 以上とする場合は、スクリーン印刷以外の方法で行うことが好ましい。

また、前記突起部の周部の厚みを $H1$ 、前記突起部の中央の最も厚い部分の厚みを $H2$ としたとき、 $H1/H2=1/3\sim 3/4$ であってもよいし、前記突起部の中央の厚みを $H1$ 、前記突起部の周部の最も厚い部分の厚みを $H2$ としたとき、 $H1/H2=1/3\sim 3/4$ としてもよい。後者の場合、突起部の中央部分に凹部ができることから、その後に可動部として物品を取り付ける際に、接着剤を前記凹部にて確実にせき止めることができる。

また、前記製造方法において、前記突起部の厚みがほぼ均一になる場合の前記突起部を形成するための材料の粘度を A （ 万cps ）としたとき、該粘度 A よりも高い粘度の材料で前記突起部を形成するようにしてもよい。これにより、突起部を1回のスクリーン印刷処理で形成した場合に、前記突起部の中央部分に凹部を形成することができ、上述した効果を得ることができる。

また、前記第1のセラミックグリーンシートに前記突起部を形成する際に、前記第1のセラミックグリーンシートに第1の突起部を形成した後、該第1の突起部上に第2の突起部をその一部が重なるように位置をずらして形成するようにしてもよい。

- 5 これにより、突起部の厚みを大きくすることができ、併せて、突起部の第1のセラミックグリーンシートに接する部分の勾配をなだらかにすることができる。突起部の厚みが大きくなると、その後に可動部とした際において、可動部と薄板部との境界部分において応力が集中しやすくなるおそれがある。しかし、可動部と薄板部との境界部分の勾配がなだらかで、該境界部分の角度が鈍角に形成されていることから、前記境界部分での応力を分散させることができ、1箇所
- 10 に集中する応力を小さくすることができる。これは、圧電／電歪デバイスの耐衝撃性を高める上で有利となる。

- そして、前記第1の突起部又は第2の突起部の厚みを $H1$ 、前記第1の突起部と第2の突起部との重なり部分の最も厚い部分の厚みを $H2$ としたとき、 $H1/H2 = 1/3 \sim 3/4$ とすることで、突起部全体の厚みを低く抑えることができ、
- 15 その後に可動部にした場合に、薄板部との境界部分における応力集中を抑制することができる。

- また、前記第1の突起部と第2の突起部との重なり部分の厚みを $H1$ 、前記第1の突起部又は第2の突起部の最も厚い部分の厚みを $H2$ としたとき、 $H1/H2 = 1/3 \sim 3/4$ としてもよい。これにより、前記第1の突起部と第2の突起部との重なり部分において凹部が形成され、その後に可動部として物品を取り付ける際に、接着剤が前記凹部にて確実にせき止めることが可能となり、物品の接着強度を確保することができる。
- 20

- また、本発明は、前記第1のセラミックグリーンシートに前記突起部を形成する際に、前記第1のセラミックグリーンシートに複数の突起部をそれぞれ分離して形成するようにしてもよい。これにより、取り付けに使用する接着剤の量（厚み）と位置（接着面積）を規定するための効果を更に向上させることができる。
- 25

そして、前記突起部は、前記第1のセラミックグリーンシートと同様な組成の

セラミック材料と有機バインダーと有機溶剤からなるペーストを使ってスクリーン印刷にて形成するようにしてもよい。これにより、その後、焼成等を行ってセラミック基体を作製した場合に、前記突起部が可動部となり、第1のセラミックグリーンシートが薄板部となるが、このとき、可動部との密着力を向上させることができる。

前記ペーストとして、前記セラミック材料或いは、異なる組成のセラミック材料と金属材料とのサーメットと有機バインダーと有機溶剤を含むペーストを使用するようにしてもよい。前記金属材料としては、セラミック基体を作製するための焼成処理において、突起部が高温に曝されることから、耐熱性の高い白金族金属であることが好ましい。中でも白金が最も好ましい。

また、前記製造方法において、前記突起部が前記第1のセラミックグリーンシートと同様な組成のセラミック材料と有機バインダーと有機溶剤からなるペーストを使ってスクリーン印刷にて形成される場合に、前記突起部の気孔率は、50%以下であることが好ましく、更に好ましくは、30%以下である。気孔率が50%を超えると、突起部の形状、ひいては可動部の形状を一定の形状に維持させることが困難になるおそれがあり、可動部の強度が低くなるおそれがあるからである。

また、前記製造方法において、前記突起部が前記第1のセラミックグリーンシートと異なる材料と有機バインダーと有機溶剤からなるペーストを使ってスクリーン印刷にて形成される場合に、前記突起部の気孔率は、5～30%であることが好ましい。第1のセラミックグリーンシートとの熱膨張率の差に基づいて発生する応力を低減することができるからである。

図面の簡単な説明

図1は、本実施の形態に係る製造方法にて作製された圧電／電歪デバイスを示す斜視図である。

図2は、本実施の形態に係る製造方法を示す工程ブロック図である。

図3は、後に薄板部となるセラミックグリーンシートの各一主面に突起部を構

成するペーストを形成した状態を示す斜視図である。

図4は、後に短いセラミック板となるセラミックグリーンシートを示す斜視図である。

図5は、後に固定部となるセラミックグリーンシートを示す斜視図である。

5 図6は、第1及び第2の仮積層体を示す斜視図である。

図7は、図6におけるV I I - V I I 線上の断面図である。

図8は、第3の仮積層体を示す斜視図である。

図9は、第1～第3の仮積層体を積層して、セラミックグリーン積層体を作製する場合を示す説明図である。

10 図10は、セラミックグリーン積層体を焼成してセラミック積層体とした後、圧電／電歪素子を形成した状態を示す説明図である。

図11Aは、第1の具体例に係る製造方法において、セラミックグリーンシートの一主面にペーストの印刷により突起部を形成した状態を示す説明図である。

15 図11Bは、圧電／電歪デバイスとした後に可動部に部品を取り付けた状態を示す説明図である。

図12Aは、第2の具体例に係る製造方法において、セラミックグリーンシートの一主面にペーストの印刷により突起部を形成した状態を示す説明図である。

図12Bは、圧電／電歪デバイスとした後に可動部に部品を取り付けた状態を示す説明図である。

20 図13Aは、第3の具体例に係る製造方法において、セラミックグリーンシートの一主面にペーストの印刷により突起部を形成した状態を示す説明図である。

図13Bは、圧電／電歪デバイスとした後に可動部に部品を取り付けた状態を示す説明図である。

25 図14Aは、第4の具体例に係る製造方法において、セラミックグリーンシートの一主面にペーストの印刷により突起部を形成した状態を示す説明図である。

図14Bは、圧電／電歪デバイスとした後に可動部に部品を取り付けた状態を示す説明図である。

図15Aは、第5の具体例に係る製造方法において、セラミックグリーンシー

トの一主面にペーストの印刷により突起部を形成した状態を示す説明図である。

図 1 5 B は、圧電／電歪デバイスとした後に可動部に部品を取り付けた状態を示す説明図である。

図 1 6 は、ペーストの粘度等による突起部の厚みや形状の依存性を示す表図である。

図 1 7 A は、第 6 の具体例に係る製造方法において、セラミックグリーンシートの一主面にペーストの印刷により突起部を形成した状態を示す説明図である。

図 1 7 B は、圧電／電歪デバイスとした後に可動部に部品を取り付けた状態を示す説明図である。

図 1 8 は、提案例に係る圧電／電歪デバイスを示す分解斜視図である。

発明を実施するための最良の形態

以下、本発明に係る圧電／電歪デバイスの製造方法の実施の形態例について図 1 ～図 1 7 B を参照しながら説明する。

まず、本実施の形態に係る製造方法によって作製される圧電／電歪デバイス 1 0 について図 1 を参照しながら説明する。

この圧電／電歪デバイス 1 0 は、圧電／電歪素子により電氣的エネルギーと機械的エネルギーとを相互に変換する素子を包含する概念である。従って、各種アクチュエータや振動子等の能動素子、特に、逆圧電効果や電歪効果による変位を利用した変位素子として最も好適に用いられるほか、加速度センサ素子や衝撃センサ素子等の受動素子としても好適に使用され得る。

そして、この圧電／電歪デバイス 1 0 は、図 1 に示すように、相対する一对の薄板部 1 2 a 及び 1 2 b と、これら薄板部 1 2 a 及び 1 2 b を支持する固定部 1 4 とが一体に形成されたセラミック基体 1 6 を具備し、一对の薄板部 1 2 a 及び 1 2 b の各一部にそれぞれ圧電／電歪素子 1 8 a 及び 1 8 b が形成されて構成されている。

つまり、この圧電／電歪デバイス 1 0 は、前記圧電／電歪素子 1 8 a 及び 1 8 b の駆動によって一对の薄板部 1 2 a 及び 1 2 b が変位し、あるいは薄板部 1 2

a 及び 1 2 b の変位を、圧電／電歪素子 1 8 a 及び 1 8 b により検出する構成を有する。従って、図 1 の例では、薄板部 1 2 a 及び 1 2 b と圧電／電歪素子 1 8 a 及び 1 8 b にて機能部 2 0 a 及び 2 0 b が構成されることになる。このことから、一对の薄板部 1 2 a 及び 1 2 b は、固定部 1 4 によって振動可能に支持された振動部として機能することになる。

更に、一对の薄板部 1 2 a 及び 1 2 b は、各先端部分の後に部品や部材が取り付けられる部分に突起部 7 2 が形成されており、該突起部 7 2 並びに部品や部材を取り付けるための接着剤 7 6（図 1 1 B 参照）を含む部分が一对の薄板部 1 2 a 及び 1 2 b の変位動作に伴って変位する可動部 2 2 a 及び 2 2 b として機能することになる。以下、一对の薄板部 1 2 a 及び 1 2 b の先端部分において後に部品や部材を取付ける部分（突起部 7 2、取り付け用接着剤を含む）を可動部 2 2 a 及び 2 2 b と記す。

また、可動部 2 2 a 及び 2 2 b の互いに対向する端面 2 4 a 及び 2 4 b 間には、空隙（空気）2 6 を介在させるようにしてもよいし、図示しないが、これら端面 2 4 a 及び 2 4 b の間に可動部 2 2 a 及び 2 2 b の構成部材と同じ材質、あるいは異なる材質からなる複数の部材を介在させるようにしてもよい。この場合、各可動部 2 2 a 及び 2 2 b の互いに対向する端面 2 4 a 及び 2 4 b は、取付面 2 4 a 及び 2 4 b としても機能することになる。従って、端面 2 4 a 及び 2 4 b を取付面 2 4 a 及び 2 4 b とともに記す。

特に、突起部 7 2 は、その先端面 2 8 が薄板部 1 2 a 及び 1 2 b の先端面 3 0 よりも固定部 1 4 寄りに位置している。そのため、部品を取付面 2 4 a 及び 2 4 b 間に挟むように取り付けの際に、前記突起部 7 2 は、取り付けに使用する接着剤の量（厚み）と位置（接着面積）を規定するための機能を果たすこととなる。また、薄板部 1 2 a 及び 1 2 b と部品との間に介在して該部品を接着する接着剤 7 6（図 1 1 B 参照）も可動部として作用することになり、該接着剤 7 6 と部品との境界面も可動部 2 2 a 及び 2 2 b の取付面 2 4 a 及び 2 4 b として機能することになる。

なお、セラミック基体 1 6 は、例えばセラミックグリーン積層体を焼成により

一体化したセラミック積層体で構成されている。これについては後述する。

固定部 1 4 と薄板部 1 2 a 及び 1 2 b 間には、切込み（切欠き） 3 2 が設けられている。つまり、この切込み 3 2 は、加工形状の異なる複数のセラミック板（薄板部 1 2 a 及び 1 2 b 並びに短いセラミック板 3 4）を積層することによって、あるいは、加工形状の異なる 3 種類のセラミック板（薄板部 1 2 a 及び 1 2 b、短いセラミック板 3 4 並びに固定部 1 4）を、中央に短いセラミック板 3 4 を間に挟んで積層することによって形成される。各部を構成する積層される前の各種のセラミック板の厚みは、薄板部 1 2 a 及び 1 2 b、短いセラミック板 3 4 は 5 ~ 2 0 0 μm 、固定部 1 4 は 5 0 ~ 5 0 0 μm である。5 μm より小さい厚みは、取り扱いが困難であり、5 0 0 μm より大きな厚みは、成形が困難である。

また、薄板部 1 2 a 及び 1 2 b の内壁面と短いセラミック板 3 4 の側面（切込み面）とから構成される角部 3 6 はほぼテーパ状に形成されている。

このようなセラミックスの一体化物は、各部の接合部に接着剤が介在しないことから、経時的な状態変化がほとんど生じないため、接合部位の信頼性が高く、かつ、剛性確保に有利な構造であることに加え、後述するセラミックグリーンシート積層法により、容易に製造することが可能である。

そして、圧電／電歪素子 1 8 a 及び 1 8 b は、後述のとおり別体として圧電／電歪素子 1 8 a 及び 1 8 b を準備して、セラミック基体 1 6 に膜形成法を用いることにより、直接セラミック基体 1 6 に形成されることとなる。

この圧電／電歪素子 1 8 a 及び 1 8 b は、圧電／電歪層 3 8 と該圧電／電歪層 3 8 の両側に形成された一対の電極 4 0 及び 4 2 とを有して構成され、前記一対の電極 4 0 及び 4 2 のうち、一方の電極 4 0 が少なくとも一対の薄板部 1 2 a 及び 1 2 b の上に形成されている。

本実施の形態では、圧電／電歪層 3 8 並びに一対の電極 4 0 及び 4 2 をそれぞれ多層構造としている。即ち、一方の電極 4 0 と他方の電極 4 2 が櫛歯状の断面となるようにそれぞれ互い違いに積層し、これら一方の電極 4 0 と他方の電極 4 2 が圧電／電歪層 3 8 を間に挟んで重なりあった結果、多段構成とされた圧電／電歪素子 1 8 a 及び 1 8 b とした多層構造となっている。しかし、このような多

層構造に限らず単層構造であってもよい。

次に、前記圧電／電歪デバイス 10 の各構成要素について説明する。まず、可動部 22 a 及び 22 b は、上述したように、薄板部 12 a 及び 12 b の駆動量に基づいて作動する部分であり、圧電／電歪デバイス 10 の使用目的に応じて種々の部材が取り付けられる。例えば、圧電／電歪デバイス 10 を変位素子として使用する場合であれば、光シャッタの遮蔽板等が取り付けられ、特に、ハードディスクドライブの磁気ヘッドの位置決めや、リング抑制機構に使用するのであれば、磁気ヘッド、磁気ヘッドを有するスライダ、スライダを有するサスペンション等の位置決めを必要とする部材が取り付けられる。

固定部 14 は、上述したように、薄板部 12 a 及び 12 b 並びに可動部 22 a 及び 22 b を支持する部分であり、例えば前記ハードディスクドライブの磁気ヘッドの位置決めを利用する場合には、VCM（ボイスコイルモータ）に取り付けられたキャリッジアーム、前記キャリッジアームに取り付けられた固定プレート又はサスペンション等に固定部 14 を支持固定することにより、圧電／電歪デバイス 10 の全体が固定される。また、この固定部 14 には、図 1 に示すように、圧電／電歪素子 18 a 及び 18 b を駆動するための接続端子 44 及び 46、その他の部材が配置される場合もある。

薄板部 12 a 及び 12 b 並びに固定部 14 を構成する材料としては、剛性を有する限りにおいて特に限定されないが、上述したように、セラミックグリーンシート積層法を適用できるセラミックスを好適に用いることができる。

具体的には、安定化ジルコニア、部分安定化ジルコニアをはじめとするジルコニア、アルミナ、マグネシア、窒化珪素、窒化アルミニウム、酸化チタンを主成分とする材料等が挙げられる他、これらの混合物を主成分とした材料が挙げられるが、機械的強度や靱性が高い点において、ジルコニア、特に安定化ジルコニアを主成分とする材料と部分安定化ジルコニアを主成分とする材料が好ましい。

可動部 22 a 及び 22 b は、上述したように、圧電／電歪素子 18 a 及び 18 b の変位により駆動する部分である。薄板部 12 a 及び 12 b は、可撓性を有する薄板状の部材であって、表面に配設された圧電／電歪素子 18 a 及び 18 b の

伸縮変位を屈曲変位として増幅して、可動部 2 2 a 及び 2 2 b に伝達する機能を有する。従って、薄板部 1 2 a 及び 1 2 b の形状や材質は、可撓性を有し、屈曲変形によって破損しない程度の機械的強度を有するものであれば足り、可動部 2 2 a 及び 2 2 b の応答性、操作性を考慮して適宜選択することができる。

5 突起部 7 2 を構成する材料としては、薄板部 1 2 a 及び 1 2 b や固定部 1 4 と同様のセラミックスを好適に用いることができ、ジルコニア、中でも安定化ジルコニアを主成分とする材料と部分安定化ジルコニアを主成分とする材料は、薄肉であっても機械的強度が大きいこと、靱性が高いこと、圧電／電歪層や電極材との反応性が小さいことから最も好適に用いられる。

10 前記安定化ジルコニア並びに部分安定化ジルコニアにおいては、次のように安定化並びに部分安定化されたものが好ましい。即ち、ジルコニアを安定化並びに部分安定化させる化合物としては、酸化イットリウム、酸化イッテルビウム、酸化セリウム、酸化カルシウム、及び酸化マグネシウムがあり、少なくともそのうちの 1 つの化合物を添加、含有させることにより、あるいは 1 種類の化合物の添加のみならず、それら化合物を組み合わせることで添加することによっても、目的とするジルコニアの安定化は可能である。前記安定化材として酸化物をあげたが、加熱によって前記した酸化物となるそれらの元素を含んだ化合物を添加することでも当然安定化は、可能である。

20 なお、それぞれの化合物の添加量としては、酸化イットリウムや酸化イッテルビウムの場合にあっては、1～30 モル%、好ましくは 1.5～10 モル%、酸化セリウムの場合にあっては、6～50 モル%、好ましくは 8～20 モル%、酸化カルシウムや酸化マグネシウムの場合にあっては、5～40 モル%、好ましくは 5～20 モル%とすることが望ましいが、その中でも特に酸化イットリウムを安定化剤として用いることが好ましく、その場合においては、1.5～10 モル%、更に好ましくは機械的な強度をより高めるために 2～4 モル%、耐久信頼性をより高めるために 5～7 モル%とすることが望ましい。また、焼結助剤等の添加物としてアルミナ、シリカ、遷移金属酸化物等を 0.05～20 wt % の範囲で添加することが可能であるが、圧電／電歪素子 1 8 a 及び 1 8 b の形成手法

として、膜形成法による焼成一体化を採用する場合は、アルミナ、マグネシア、遷移金属酸化物等を添加物として添加することも好ましい。

なお、機械的強度と安定した結晶相が得られるように、ジルコニアの平均結晶粒子径を $0.05 \sim 3 \mu\text{m}$ 、好ましくは $0.05 \sim 1 \mu\text{m}$ とすることが望ましい。

5 また、上述のように、薄板部12a及び12bについては、可動部22a及び22b並びに固定部14と同様のセラミックスを用いることができるが、好ましくは、実質的に同一の材料を用いて構成することが、接合部分の信頼性、圧電／電歪デバイス10の強度、製造の煩雑さの低減を図る上で有利である。

10 圧電／電歪素子18a及び18bは、少なくとも圧電／電歪層38と、該圧電／電歪層38に電界をかけるための一对の電極40及び42を有するものであり、ユニモルフ型、バイモルフ型等の圧電／電歪素子を用いることができるが、薄板部12a及び12bと組み合わせたユニモルフ型の方が、発生する変位量の安定性に優れ、軽量化に有利であるため、このような圧電／電歪デバイス10に適している。

15 前記圧電／電歪素子18a及び18bは、図1に示すように、薄板部12a及び12bの厚み方向に変位するように形成されるので、薄板部12a及び12bをより大きく駆動させることができる点で好ましい。

20 圧電／電歪層38には、圧電セラミックスが好適に用いられるが、電歪セラミックスや強誘電体セラミックス、あるいは反強誘電体セラミックスを用いることも可能である。但し、この圧電／電歪デバイス10をハードディスクドライブの磁気ヘッドの位置決め等に用いる場合は、可動部22a及び22bの変位量と駆動電圧、又は出力電圧とのリニアリティが重要とされるため、歪み履歴の小さい圧電材料を用いることが好ましく、抗電界が 10 kV/mm 以下の材料を用いることが好ましい。

25 具体的な圧電材料としては、ジルコン酸鉛、チタン酸鉛、マグネシウムニオブ酸鉛、ニッケルニオブ酸鉛、亜鉛ニオブ酸鉛、マンガンニオブ酸鉛、アンチモンズ酸鉛、マンガンタングステン酸鉛、コバルトニオブ酸鉛、チタン酸バリウム、チタン酸ナトリウムビスマス、ニオブ酸カリウムナトリウム、タンタル酸ストロ

ンチウムビスマス等の単独、又はこれらの適宜の混合物等を挙げることができる。

特に、高い電気機械結合係数と圧電定数を有し、圧電／電歪層 3 8 の焼結時における薄板部（セラミックス） 1 2 a 及び 1 2 b との反応性が小さく、安定した組成のものが得られる点において、ジルコン酸鉛、チタン酸鉛、マグネシウムニ
5 オブ酸鉛を主成分とする材料、又はチタン酸ナトリウムビスマスを主成分とする材料が好適に用いられる。

更に、前記圧電材料に、ランタン、カルシウム、ストロンチウム、モリブデン、
タングステン、バリウム、ニオブ、亜鉛、ニッケル、マンガン、セリウム、カド
ミウム、クロム、コバルト、アンチモン、鉄、イットリウム、タンタル、リチウ
10 ム、ビスマス、スズ等の酸化物等を単独で、もしくは混合したセラミックスを用いてもよい。

例えば、主成分であるジルコン酸鉛とチタン酸鉛及びマグネシウムニオブ酸鉛に、ランタンやストロンチウムを含有させることにより、抗電界や圧電特性を調整可能となる等の利点を得られる場合がある。

15 なお、シリカ等のガラス化し易い材料の添加は、圧電／電歪体に対して 2 重量％以下とすることが望ましい。2 重量％以上添加すると、シリカ等の焼結助剤となる材料は、圧電／電歪層 3 8 の熱処理時に、圧電／電歪体と反応し易く、その組成を変動させ、圧電特性を劣化させるからである。一方、適量のシリカの添加は、圧電／電歪体の焼結性を改善する効果がある。

20 一方、圧電／電歪素子 1 8 a 及び 1 8 b の一対の電極 4 0 及び 4 2 は、室温で固体であり、導電性に優れた金属で構成されていることが好ましく、例えばアルミニウム、チタン、クロム、鉄、コバルト、ニッケル、銅、亜鉛、ニオブ、モリブデン、ルテニウム、パラジウム、ロジウム、銀、スズ、タンタル、タングステン、イリジウム、白金、金、鉛等の金属単体、もしくはこれらの合金が用いられ、
25 更に、これらに圧電／電歪層 3 8 あるいは薄板部 1 2 a 及び 1 2 b と同様な組成のセラミックス或いは、これらのセラミックと異なる材料を分散させたサーメット材料を用いてもよい。サーメットに利用するセラミックスは、電極 4 0 及び 4 2 が接するセラミックスと同様な組成にする事で付着強度が増加するので望まし

く、複数の層とする事がより望ましい。これらセラミックスと異なる組成のセラミックスであっても、前記付着強度を保持できれば、利用する事ができる。サーメットの組成は、各材料の重量／各材料の真密度を体積として計算し、金属体積／セラミック体積として、90／10～10／90とする。金属の機械強度と薄板基板に対するセラミックスの付着力を発現させるため、より好ましくは、30／70～70／30とする。

圧電／電歪素子18a及び18bにおける電極40及び42の材料選定は、圧電／電歪層38の形成方法に依存して決定される。例えば薄板部12a及び12b上に一方の電極40を形成した後、前記電極40上に圧電／電歪層38を焼成により形成する場合は、一方の電極40には、圧電／電歪層38の焼成温度においても変化しない白金、パラジウム、白金－パラジウム合金、銀－パラジウム合金等の高融点金属を使用する必要があるが、圧電／電歪層38を形成した後に、前記圧電／電歪層38上に形成される最外層の電極は、低温で電極形成を行うことができるため、アルミニウム、金、銀等の低融点金属を主成分として使用することができる。

また、電極40及び42の厚みは、少なからず圧電／電歪素子18a及び18bの変位を低下させる要因ともなるため、特に圧電／電歪層38の焼成後に形成される電極には、焼成後に緻密でより薄い膜が得られる有機金属ペースト、例えば金レジネートペースト、白金レジネートペースト、銀レジネートペースト等の材料を用いることが好ましい。これにより、1μm以下の厚みとすることができる。

そして、この圧電／電歪デバイス10は、超音波センサや加速度センサ、角速度センサや衝撃センサ、質量センサ等の各種センサに好適に利用でき、端面24a及び24bないし薄板部12a及び12b間に取り付けられる物体のサイズを適宜調整することにより、センサの感度調整が容易に行えるという更なる利点がある。

また、薄板部12a及び12bの表面に圧電／電歪素子18a及び18bを形成する方法として、上述したスクリーン印刷法のほかに、ディッピング法、塗布

法、電気泳動法等の厚膜形成法や、イオンビーム法、スパッタリング法、真空蒸着、イオンプレーティング法、化学気相成長法（CVD）、めっき等の薄膜形成法を用いることができる。

5 このような膜形成法を用いて圧電／電歪素子18a及び18bを形成することにより、接着剤を用いることなく、圧電／電歪素子18a及び18bと薄板部12a及び12bとを一体的に接合、配設することができ、信頼性、再現性を確保できると共に、集積化を容易にすることができる。

10 この場合、厚膜形成法により圧電／電歪素子18a及び18bを形成することが好ましい。特に、圧電／電歪層38の形成において厚膜形成法を用いれば、平均粒径0.01～5 μ m、好ましくは0.05～3 μ mの圧電セラミックスの粒子、粉末を主成分とするペーストやスラリー、又はサスペンションやエマルジョン、ゾル等を用いて膜化することができ、それを焼成することによって良好な圧電／電歪特性を得ることができるからである。

15 なお、電気泳動法は、膜を高い密度で、かつ、高い形状精度で形成できるという利点がある。また、スクリーン印刷法は、膜形成とパターン形成とを同時に行うことができるため、製造工程の簡略化に有利である。

次に、本実施の形態に係る圧電／電歪デバイスの製造方法のいくつかの具体例について図2～図17Bを参照しながら説明する。

20 まず、定義付けをしておく。セラミックグリーンシートを積層して得られた積層体をセラミックグリーン積層体50（例えば図9参照）と定義し、このセラミックグリーン積層体50を焼成して一体化したものをセラミック積層体52（例えば図10参照）と定義し、このセラミック積層体52から不要な部分を切除して、薄板部12a及び12b、可動部22a及び22b並びに固定部14が一体化されたものをセラミック基体16（図1参照）と定義する。

25 また、本実施の形態に係る圧電／電歪デバイス10の製造方法においては、圧電／電歪デバイス10を同一基板内に縦方向及び横方向にそれぞれ複数個配置した形態で、最終的にセラミック積層体82をチップ単位に切断して、圧電／電歪デバイス10を同一工程で多数個取りするものであるが、説明を簡単にするため

に、圧電／電歪デバイス 10 の 1 個取りを主体にして説明する。

まず、図 2 のステップ S 1 において、ジルコニア等のセラミック粉末にバインダ、溶剤、分散剤、可塑剤等を添加混合してスラリーを作製し、これを脱泡処理後、リバースロールコーター法、ドクターブレード法等の方法により、所定の厚み
5 みを有するセラミックグリーンシートを作製する。

その後、図 2 のステップ S 2 において、各セラミックグリーンシートの所要箇所
10 所に接着剤（例えばセラミックペースト）を例えばスクリーン印刷で塗布する。

その後、図 2 のステップ S 3 a、ステップ S 3 b 及びステップ S 3 c において、各セラミックグリーンシートに対して金型を用いた打抜加工やレーザ加工等を実施
10 す。このうち、ステップ S 3 a では、前記加工によって、図 3 に示すように、後に薄板部 12 a 及び 12 b となるセラミックグリーンシート 60 A 及び 60 B を作製する。その後、ステップ S 4 において、セラミックグリーンシート 60 A 及び 60 B の各一主面に、後に可動部 22 a 及び可動部 22 b の一部となる突起部 72 を形成する。突起部 72 は、ペーストをスクリーン印刷により塗布すること
15 によって形成される。

特に、この第 1 の具体例では、図 11 A に示すように、突起部 72 の幅 L を 30 μ m 以上とし、突起部 72 の厚み H を 2 ～ 50 μ m としている。従って、突起部 72 を簡便なスクリーン印刷を用いて形成することが可能となる。

一方、図 2 のステップ S 3 b では、前記加工によって、図 4 に示すように、後に短いセラミック板 34 となるセラミックグリーンシート 62 A 及び 62 B を作
20 製する。図 2 のステップ S 3 c では、前記加工によって、図 5 に示すように、後に固定部 14 となるセラミックグリーンシート 64 を n 枚作製する。

その後、図 2 のステップ S 5 a において、セラミックグリーンシート 60 A とセラミックグリーンシート 62 A を仮積層して第 1 の仮積層体 66 を作製し（図 6 及び図 7 参照）、セラミックグリーンシート 60 B とセラミックグリーンシート 62 B を仮積層して第 2 の仮積層体 68 を作製する（図 6 及び図 7 参照）。また、ステップ S 5 b において、n 枚のセラミックグリーンシート 64 を仮積層して第 3 の仮積層体 70 を作製する（図 8 参照）。これらの仮積層においては、セ
25

ラミックグリーンシート 60A、60B、62A、62B並びにn枚のセラミックグリーンシート 64にそれぞれ所要箇所に接着剤を例えばスクリーン印刷にて塗布してあるため、積層状態が簡単にくずれるということが回避される。

5 その後、図2のステップS6において、第1の仮積層体66のうち、図9に示すように、セラミックグリーンシート60Aの一主面とセラミックグリーンシート62Aの側面で構成される角部36をテーパ状にするためにペーストをスクリーン印刷によって塗布する。

10 ここで、前記突起部72並びに角部36にテーパを形成するためのペーストの組成は、基本的には薄板部12a及び12bの材質、組成と同等のものが好ましい。例えばセラミック粉末、バインダー、添加剤及び溶剤を混合させてなるペーストが使用される。この場合、一例として、セラミック粉末は、 ZrO_2 に Y_2O_3 を前述した範囲で添加したものが使用される。そして、バインダーとしてPVB、
15 アクリルもしくはエチルセルロース又はこれらの混合物がセラミック粉末100部に対して5～40部添加され、DOP等の可塑剤、必要に応じて分散剤からなる添加剤がセラミック粉末に対して2～20部添加され、溶剤として、2エチルヘキサノール、ブチルカルビトール等を適量添加する。ペースト調合の際には、
20 これらの混合が良好になるようにアセトン、IPA等の低沸点溶媒を混合補助剤として使用することが望ましい。また、前記サーメットを利用する場合、セラミック材料と金属材料とをバインダー、添加剤及び溶剤と混合させてなるペーストを使用することになるが、サーメットペーストの調合としては、予めセラミックペーストと金属ペーストを各々作成した後、所定の組成になるように、これらのペーストを混合して作成してもよい。

25 ペーストの粘性は、スクリーン印刷で使用される製版の窓からスムーズに前記角部36並びにセラミックグリーンシート60Aの一主面に塗布され、かつ、印刷後、乾燥前に適当にダレるものが望ましい。粘度が高すぎると、塗布後希望の形状にならず固まりとなったり、また、粘度が低すぎると、乾燥後に所定の厚みを所定回数で得がたく希望の形状にならない場合がある。特に、角部36にテーパを形成する場合短いセラミック板34（図1参照）の厚み及び粘度を考慮する

必要がある。この具体例では、ペーストの粘度として1～50万cpsとした。

同様に、第2の仮積層体68のうち、セラミックグリーンシート60Bの一主面とセラミックグリーンシート62Bの側面で構成される角部36をテーパ状にするためにペーストをスクリーン印刷によって塗布する。

5 なお、上述の例では、第1及び第2の仮積層体66及び68を作製する前のステップS4において、セラミックグリーンシート60A及び60Bの各一主面に、ペーストを印刷して突起部72を形成するようにしたが、その他、第1及び第2の仮積層体66及び68を作製した後に、前記突起部72を形成するようにしてもよい。

10 その後、図2のステップS7において、図9に示すように、第1及び第2の仮積層体66及び68で第3の仮積層体70を挟み込むようにして、これら第1～第3の仮積層体66、68及び70を積層した後、圧着して、セラミックグリーン積層体50とする。このとき、セラミックグリーンシート62A及び62Bの上部にペーストがはみだすことも起こり得るが、第3の仮積層体70を積層する
15 際に埋没するため、このはみだした部分に関して考慮する必要はない。同様に、図6では、突起部72の長さを、セラミックグリーンシート66の窓の幅とほぼ同一にした例を示したが、前記長さはセラミックグリーンシート66の窓の幅より短くても、長くてもよい。

20 なお、上述の例では、角部をテーパ状にすることから、図6に示すように、第1及び第2の仮積層体を作製する必要があるが、角部36をテーパ状としない場合は、第1及び第2の仮積層体を作製する必要はない。もちろん、いずれの場合であっても、切込み32を設ける場合にあっては、図2のステップS5bにおける第3の仮積層体の作製は必要である。

25 切込みを形成するためのセラミックグリーンシートを積層する必要から、全てのセラミックグリーンシートを仮積層せずに、全てのセラミックグリーンシートを一度に加圧積層すると、切込みに対応する部分のセラミックグリーンシートの積層状態が不十分になるおそれがある。従って、全てのセラミックグリーンシートを一度に加圧積層するとすれば、切込みが形成される部分に圧力を伝達でき、か

つ、焼成後消失するものを介在させる方法等が必要になる。

その後、図2のステップS8において、前記セラミックグリーン積層体50を焼成してセラミック積層体52（図10参照）を得る。

次に、図2のステップS9において、図10に示すように、前記セラミック積層体52の両表面、即ち、セラミックグリーンシート60A及び60Bが積層された表面に相当する面に、それぞれ多層構造の圧電／電歪素子18a及び18bを形成し、焼成によって圧電／電歪素子18a及び18bをセラミック積層体52に一体化させる。もちろん、圧電／電歪素子18a又は18bはセラミック積層体52の片側の表面のみに形成してもよい。

その後、図2のステップS10において、図10に示すように、圧電／電歪素子18a及び18bが形成されたセラミック積層体52のうち、切断線K1、K2、K3に沿って切断することにより、セラミック積層体52の側部と先端部を切除する。この切除によって、図1に示すように、セラミック基体16に圧電／電歪素子18a及び18bが形成され、かつ、一对の薄板部12a及び12bの互いに対向する内壁にそれぞれ突起部72が形成された圧電／電歪デバイス10を得る。

切断は、ダイサー、スライサー等の固定砥粒を利用した切削方法と、ワイヤーソー等の遊離砥粒を利用した切削法とを適宜選択して行う。圧電／電歪素子18a及び18bの切断は、遊離砥粒の切削法が望ましい。

切断のタイミングは、切断線K1及びK2に沿って切断した後に、切断線K3に沿って切断してもよく、切断線K3に沿って切断した後に、切断線K1及びK2に沿って切断してもよい。もちろん、これらの切断を同時に行うようにしてもよい。また、切断線K3と対向する固定部14の端面も適宜切断するようにしてもよい。その後、例えば超音波洗浄によって、前記切断による切屑等が除去されることになる。

このように、第1の具体例に係る製造方法においては、後に薄板部12a及び12bとなるセラミックグリーンシート60A及び60Bの一主面に厚膜形成処理にて突起部72を形成するようにしたので、突起部72の形状を様々に変える

ことが可能となる。従って、セラミック材にて構成された薄板部 1 2 a 及び 1 2 b の突起部 7 2 の形状による機械的特性への影響を抑制することができる。

これにより、その後の不要な部分の切除工程を経て圧電／電歪デバイス 1 0 を作製したとき、図 1 1 B に示すように、突起部 7 2 と接着剤 7 6 によって可動部 2 2 a 及び 2 2 b が構成されることになるが、このとき、突起部 7 2 による効果、即ち、可動部 2 2 a 及び 2 2 b の互いに対向する端面（取付面 2 4 a 及び 2 4 b）間に、部品 7 4（二点鎖線で示す）を挟むように取り付ける際に、前記突起部 7 2 は、取り付けに使用する接着剤 7 6 の量（厚み）と位置（接着面積）を規定するための機能を十分に発揮することとなる。

また、この第 1 の具体例においては、セラミックグリーンシート 6 0 A 及び 6 0 B と同様な組成のセラミック材料と有機バインダーと有機溶剤からなるペーストを使ってスクリーン印刷にて突起部 7 2 を形成するようにしている。これにより、その後、焼成等を行ってセラミック基体 1 6 を作製した場合に、図 1 1 B に示すように、突起部 7 2 が可動部 2 2 a 及び 2 2 b の一部となり、セラミックグリーンシート 6 0 A 及び 6 0 B が薄板部 1 2 a 及び 1 2 b となるが、このとき、薄板部 1 2 a 及び 1 2 b と突起部 7 2 との密着力を向上させることができる。

前記ペーストとして、前記セラミック材料と金属材料と有機バインダーと有機溶剤を含むペーストを使用するようにしてもよい。金属材料としては、セラミック基体 1 6 を作製するための焼成処理において、突起部 7 2 が高温に曝されることから、耐熱性の高い白金族金属であることが好ましい。中でも白金が最も好ましい。

また、形成される突起部 7 2 の気孔率は、50%以下であることが好ましく、更に好ましくは、30%以下である。気孔率が50%を超えると、突起部 7 2 の形状、ひいては可動部 2 2 a 及び 2 2 b の形状を一定の形状に維持させることが困難になるおそれがあり、可動部 2 2 a 及び 2 2 b の強度が低くなるおそれがあるからである。

なお、突起部 7 2 を、セラミックグリーンシート 6 0 A 及び 6 0 B と異なる材料と有機バインダーと有機溶剤からなるペーストを使ってスクリーン印刷にて形

成する場合においては、突起部 7 2 の気孔率として、5～30%であることが好ましい。セラミックグリーンシート 6 0 A 及び 6 0 B との熱膨張率の差に基づいて発生する応力を低減することができるからである。

次に、第 2 の具体例に係る製造方法について図 1 2 A 及び図 1 2 B を参照しながら説明する。この第 2 の具体例に係る製造方法は、上述した第 1 の具体例に係る製造方法とほぼ同じ工程を含むが、図 2 のステップ S 5 における突起部 7 2 の形成工程において、図 1 2 A に示すように、セラミックグリーンシート 6 0 A の一主面に、ペーストのスクリーン印刷によって第 1 の突起部 7 2 A を形成し、その後、第 1 の突起部 7 2 A 上に、同じくペーストのスクリーン印刷によって第 2 の突起部 7 2 B をその一部が第 1 の突起部 7 2 A に重なるように位置をずらして形成する点で異なる。

この場合、突起部 7 2 の厚みを大きくすることができ、併せて、突起部 7 2 (第 1 の突起部 7 2 A 及び第 2 の突起部 7 2 B) のセラミックグリーンシート 6 0 A 及び 6 0 B に接する部分の勾配をなだらかにすることができる。突起部 7 2 の厚みが大きくなると、その後に可動部 2 2 a 及び 2 2 b とした際において、突起部 7 2 と薄板部 1 2 a 及び 1 2 b との境界部分 7 8 において応力が集中しやすくなるおそれがある。

しかし、図 1 2 B に示すように、突起部 7 2 と薄板部 1 2 a 及び 1 2 b との境界部分 7 8 の勾配がなだらかで、該境界部分 7 8 の角度が鈍角に形成されていることから、前記境界部分 7 8 での応力を分散させることができ、1箇所に集中する応力を小さくすることができる。これは、圧電／電歪デバイス 1 0 の耐衝撃性を高める上で有利となる。

次に、第 3 の具体例に係る製造方法は、上述した第 2 の具体例に係る製造方法とほぼ同じ工程を含むが、図 2 のステップ S 5 における突起部 7 2 の形成工程において、図 1 3 A に示すように、第 1 の突起部 7 2 A と第 2 の突起部 7 2 B との重なり範囲を狭くした点で異なる。

具体的には、第 1 の突起部 7 2 A 又は第 2 の突起部 7 2 B の厚みを H 1、第 1 の突起部 7 2 A と第 2 の突起部 7 2 B との重なり部分 8 0 の最も厚い部分 8 2 の

厚みを $H2$ としたとき、 $H1/H2 = 1/3 \sim 3/4$ としている。

これにより、突起部72全体の厚みを低く抑えることができ、図13Bに示すように、その後に可動部22a及び22bにした場合に、薄板部12a及び12bとの境界部分78における応力集中を抑制することができる。

- 5 次に、第4の具体例に係る製造方法は、上述した第3の具体例に係る製造方法とほぼ同じ工程を含むが、図2のステップS5における突起部72の形成工程において、図14Aに示すように、第1の突起部72Aと第2の突起部72Bとの重なり範囲を更に狭くし、第1の突起部72Aと第2の突起部72Bとの重なり部分80の厚みを $H1$ 、第1の突起部72A又は第2の突起部72Bの最も厚い部分の厚みを $H2$ としたとき、 $H1/H2 = 1/3 \sim 3/4$ としている点で異なる。
- 10

- これにより、第1の突起部72Aと第2の突起部72Bとの重なり部分80において凹部84が形成され、図14Bに示すように、その後に可動部22a及び22bとして物品74を取り付ける際に、接着剤76を凹部84にて確実にせき止めることができる。
- 15

- 次に、第5の具体例に係る製造方法は、上述した第1の具体例に係る製造方法とほぼ同じ工程を含むが、図2のステップS5における突起部72の形成工程において、第1の具体例に係る製造方法（図11A参照）において使用したペーストの粘度、即ち、形成される突起部72の厚み H がほぼ均一になる場合のペーストの粘度を A （ 万cps ）としたとき、該粘度 A よりも高い粘度のペーストで突起部72を形成している点で異なる。
- 20

- 図16に、ペーストの粘度等によって突起部72の厚みや形状がどのように変わるかを表としてまとめた。ここで、印刷スピードは 200mm/sec 、ブレイクアウェイは 1.5mm とし、更に、スキージとして平スキージを用い、粘度測定器として東京計器E型粘度計（ 3° コーン、 0.5rpm ）を用いた。
- 25

図16の表からもわかるように、ペーストの粘度を第1の具体例（図11A参照）で用いたペーストの粘度よりも高く、例えば2倍以上とすることにより、図15Aに示すように、突起部72を1回のスクリーン印刷処理で形成した場合に、

突起部 7 2 の中央部分に凹部 8 4 を形成することができ、第 4 の具体例に係る製造方法にて形成した突起部 7 2 と同様の効果を得ることができる。即ち、図 1 5 B に示すように、その後に可動部 2 2 a 及び 2 2 b として物品 7 4 を取り付ける際に、接着剤 7 6 を凹部 8 4 にて確実にせき止めることができる。なお、図 1 5 B の例では、薄板部 1 2 a 及び 1 2 b の先端面 3 0 をテーパ状とし、その傾斜角 θ が薄板部 1 2 a 及び 1 2 b の内壁に対して鋭角とした場合を示している。

次に、第 6 の具体例に係る製造方法は、上述した第 1 の具体例に係る製造方法とほぼ同じ工程を含むが、図 2 のステップ S 5 における突起部 7 2 の形成工程において、図 1 7 A に示すように、セラミックグリーンシート 6 0 A 及び 6 0 B の一主面に複数の突起部 7 2 をそれぞれ分離して形成した点で異なる。各突起部 7 2 は、いずれも幅 L が $30\ \mu\text{m}$ 以上、厚み H が $2\sim 50\ \mu\text{m}$ である。

これにより、図 1 7 B に示すように、1 つの薄板部 1 2 a (又は 1 2 b) に複数の可動部 2 2 a (又は 2 2 b) が距離を置いて配置された形態となるため、接着剤 7 6 の量 (厚み) と位置 (接着面積) を規定する効果を更に向上させることができる。なお、図 1 7 B の例では、薄板部 1 2 a 及び 1 2 b の先端面 3 0 をテーパ状とし、その傾斜角 θ が薄板部 1 2 a 及び 1 2 b の内壁に対して鈍角とした場合を示している。

上述した第 1 ～第 6 の具体例に係る製造方法にて作製された圧電／電歪デバイス 1 0 によれば、各種トランスデューサ、各種アクチュエータ、周波数領域機能部品 (フィルタ)、トランス、通信用や動力用の振動子や共振子、発振子、ディスクリミネータ等の能動素子のほか、超音波センサや加速度センサ、角速度センサや衝撃センサ、質量センサ等の各種センサ用のセンサ素子として利用することができ、特に、光学機器、精密機器等の各種精密部品等の変位や位置決め調整、角度調整の機構に用いられる各種アクチュエータに好適に利用することができる。

上述の製造方法では、セラミックグリーンシート 6 0 A 及び 6 0 B の一主面に突起部 7 2 を形成する際に、スクリーン印刷を用いたが、その他、電気泳動法、刷毛塗り、転写、ディッピング法等を採用することができる。

なお、この発明に係る圧電／電歪デバイスの製造方法は、上述の実施の形態に

限らず、この発明の要旨を逸脱することなく、種々の構成を採り得ることはもちろんである。

産業上の利用可能性

- 5 薄板部をセラミックスにて構成した場合に、突起の形成手法並びに突起の形状を最適化することで、突起の形状が薄板部の機械的特性に影響を及ぼすおそれのない高性能な圧電／電歪デバイスを作製することができる。

請求の範囲

1. 相対向する一对の薄板部 (12 a, 12 b) と、これら薄板部 (12 a, 12 b) を支持する固定部 (14) と、前記一对の薄板部 (12 a, 12 b) の先端部分に可動部 (22 a, 22 b) を有する圧電／電歪デバイス (10) の製造方法であって、

後に前記薄板部 (12 a, 12 b) を構成する第1のセラミックグリーンシート (60 A, 60 B) の一主面に、少なくとも1回の厚膜形成処理を施して、後に可動部 (22 a, 22 b) となる突起部 (72) を形成する工程と、

前記第1のセラミックグリーンシート (60 A, 60 B) と後に前記固定部 (14) を構成する第2のセラミックグリーンシート (64) とを積層してセラミックグリーン積層体 (50) とする工程と、

前記セラミックグリーン積層体 (50) を焼成一体化してセラミック積層体 (52) とする工程と、

前記セラミック積層体 (52) 上に圧電／電歪素子 (18 a, 18 b) を形成し、焼成した後、不要な部分を切除して圧電／電歪デバイス (10) を作製する工程とを有することを特徴とする圧電／電歪デバイスの製造方法。

2. 請求項1記載の圧電／電歪デバイスの製造方法において、

前記突起部 (72) の幅 (L) が $30\text{ }\mu\text{m}$ 以上であることを特徴とする圧電／電歪デバイスの製造方法。

3. 請求項1又は2記載の圧電／電歪デバイスの製造方法において、

前記突起部 (72) の厚み (H) が $2\sim 50\text{ }\mu\text{m}$ であることを特徴とする圧電／電歪デバイスの製造方法。

4. 請求項1～3のいずれか1項に記載の圧電／電歪デバイスの製造方法において、

前記突起部 (72) の周部の厚みを $H1$ 、前記突起部 (72) の中央の最も厚い部分の厚みを $H2$ としたとき、

$$H1/H2 = 1/3 \sim 3/4$$

であることを特徴とする圧電／電歪デバイスの製造方法。

5. 請求項1～3のいずれか1項に記載の圧電／電歪デバイスの製造方法において、

5 前記突起部（72）の中央の厚みをH1、前記突起部（72）の周部の最も厚い部分の厚みをH2としたとき、

$$H1/H2 = 1/3 \sim 3/4$$

であることを特徴とする圧電／電歪デバイスの製造方法。

6. 請求項5記載の圧電／電歪デバイスの製造方法において、

10 前記突起部（72）の厚み（H）がほぼ均一になる場合の前記突起部（72）を形成するための材料の粘度をA（万cps）としたとき、該粘度Aよりも高い粘度の材料で前記突起部（72）を形成することを特徴とする圧電／電歪デバイスの製造方法。

7. 請求項1～5のいずれか1項に記載の圧電／電歪デバイスの製造方法において、

15 前記第1のセラミックグリーンシート（60A、60B）に前記突起部（72）を形成する際に、

20 前記第1のセラミックグリーンシート（60A、60B）に第1の突起部（72A）を形成した後、該第1の突起部（72A）上に第2の突起部（72B）をその一部が重なるように位置をずらして形成することを特徴とする圧電／電歪デバイスの製造方法。

8. 請求項7記載の圧電／電歪デバイスの製造方法において、

前記第1の突起部（72A）又は第2の突起部（72B）の厚みをH1、前記第1の突起部（72A）と第2の突起部（72B）との重なり部分（80）の最も厚い部分（82）の厚みをH2としたとき、

25
$$H1/H2 = 1/3 \sim 3/4$$

であることを特徴とする圧電／電歪デバイスの製造方法。

9. 請求項7記載の圧電／電歪デバイスの製造方法において、

前記第1の突起部（72A）と第2の突起部（72B）との重なり部分（8

0)の厚みをH1、前記第1の突起部(72A)又は第2の突起部(72B)の最も厚い部分の厚みをH2としたとき、

$$H1/H2 = 1/3 \sim 3/4$$

であることを特徴とする圧電/電歪デバイスの製造方法。

- 5 10. 請求項1～6のいずれか1項に記載の圧電/電歪デバイスの製造方法において、

前記第1のセラミックグリーンシート(60A, 60B)に前記突起部(72)を形成する際に、

- 10 前記第1のセラミックグリーンシート(60A, 60B)に複数の突起部(72)をそれぞれ分離して形成することを特徴とする圧電/電歪デバイスの製造方法。

11. 請求項1～10のいずれか1項に記載の圧電/電歪デバイスの製造方法において、

- 15 前記突起部(72)は、前記第1のセラミックグリーンシート(60A, 60B)と同様な組成のセラミック材料と有機バインダーと有機溶剤からなるペーストを使ってスクリーン印刷にて形成されることを特徴とする圧電/電歪デバイスの製造方法。

12. 請求項1～10記載の圧電/電歪デバイスの製造方法において、

- 20 セラミック材料と金属材料と有機バインダーと有機溶剤を含むペーストを使用することを特徴とする圧電/電歪デバイスの製造方法。

13. 請求項12記載の圧電/電歪デバイスの製造方法において、

前記金属材料は、白金族金属であることを特徴とする圧電/電歪デバイスの製造方法。

- 25 14. 請求項1～10のいずれか1項に記載の圧電/電歪デバイスの製造方法において、

前記突起部(72)が前記第1のセラミックグリーンシート(60A, 60B)と同様な組成のセラミック材料と有機バインダーと有機溶剤からなるペーストを使ってスクリーン印刷にて形成される場合に、

前記突起部（72）の気孔率は、50％以下であることを特徴とする圧電／電歪デバイスの製造方法。

15. 請求項1～10のいずれか1項に記載の圧電／電歪デバイスの製造方法において、

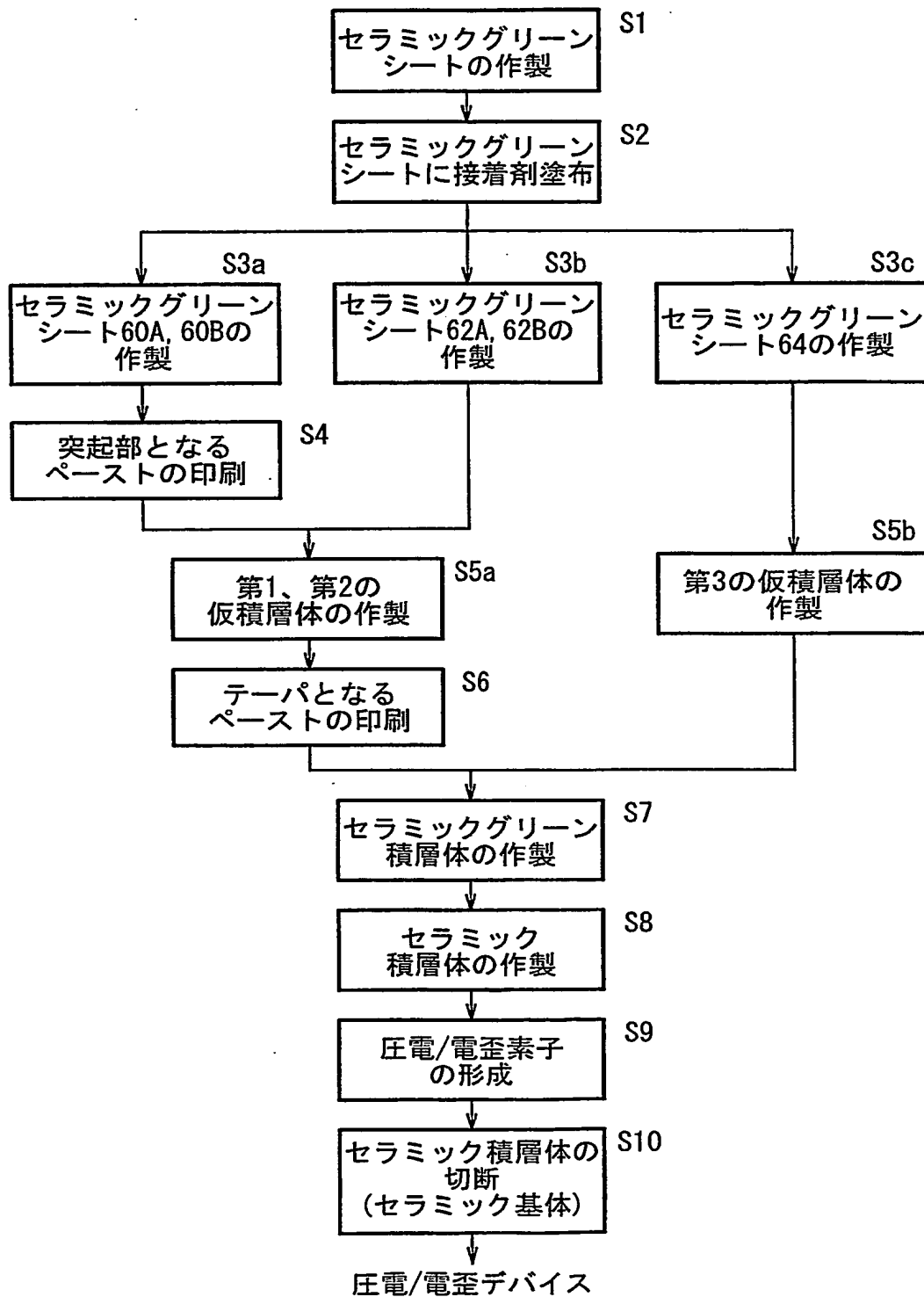
- 5 前記突起部（72）が前記第1のセラミックグリーンシート（60A, 60B）と異なる材料と有機バインダーと有機溶剤からなるペーストを使ってスクリーン印刷にて形成される場合に、

前記突起部（72）の気孔率は、5～30％であることを特徴とする圧電／電歪デバイスの製造方法。

THIS PAGE BLANK (USPTO)

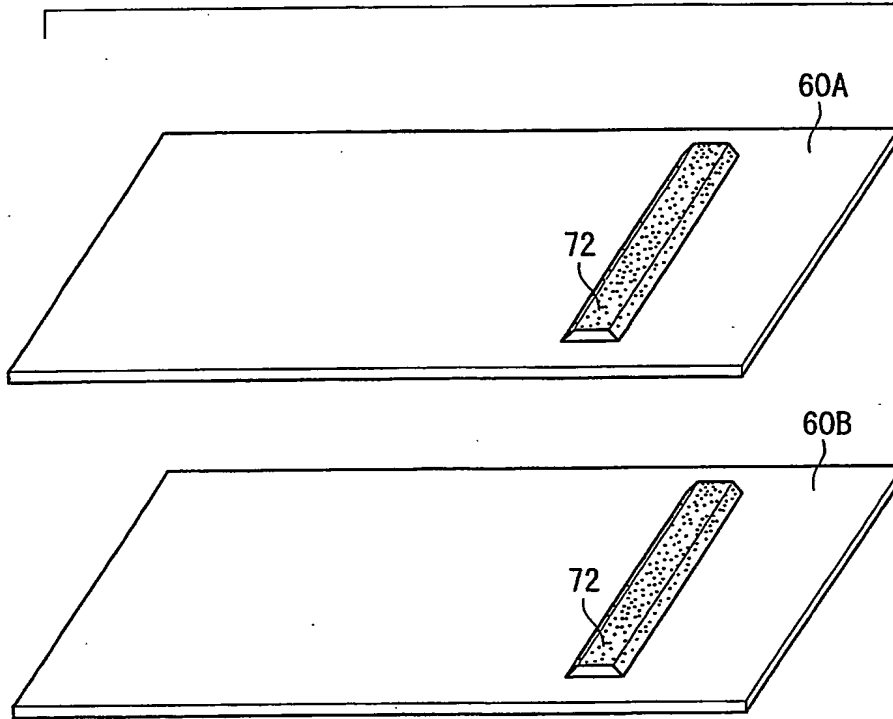
2/18

FIG. 2



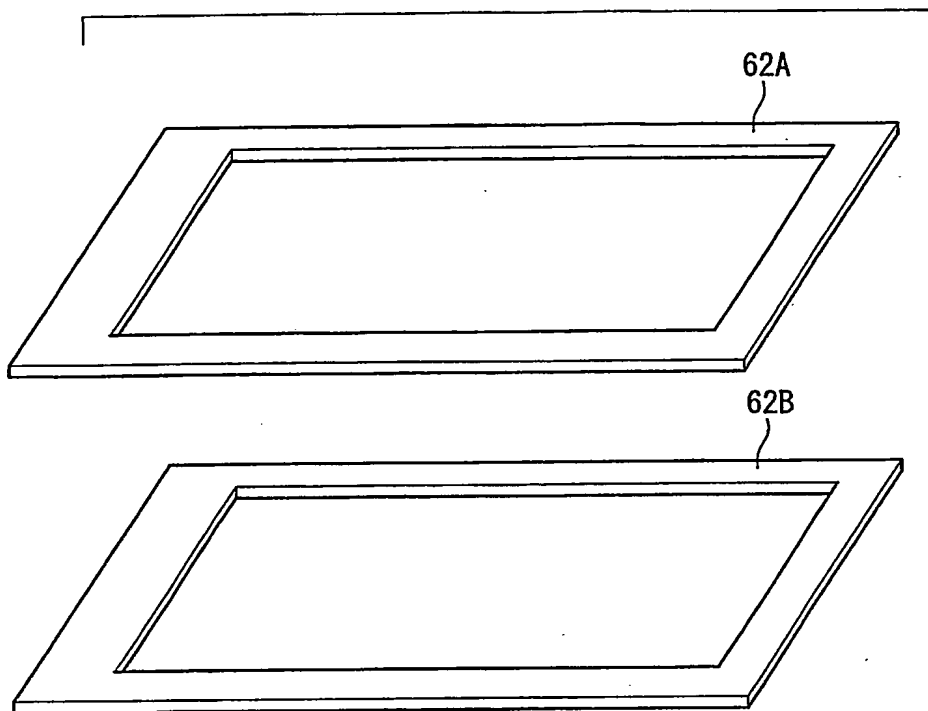
THIS PAGE BLANK (USPTO)

FIG. 3



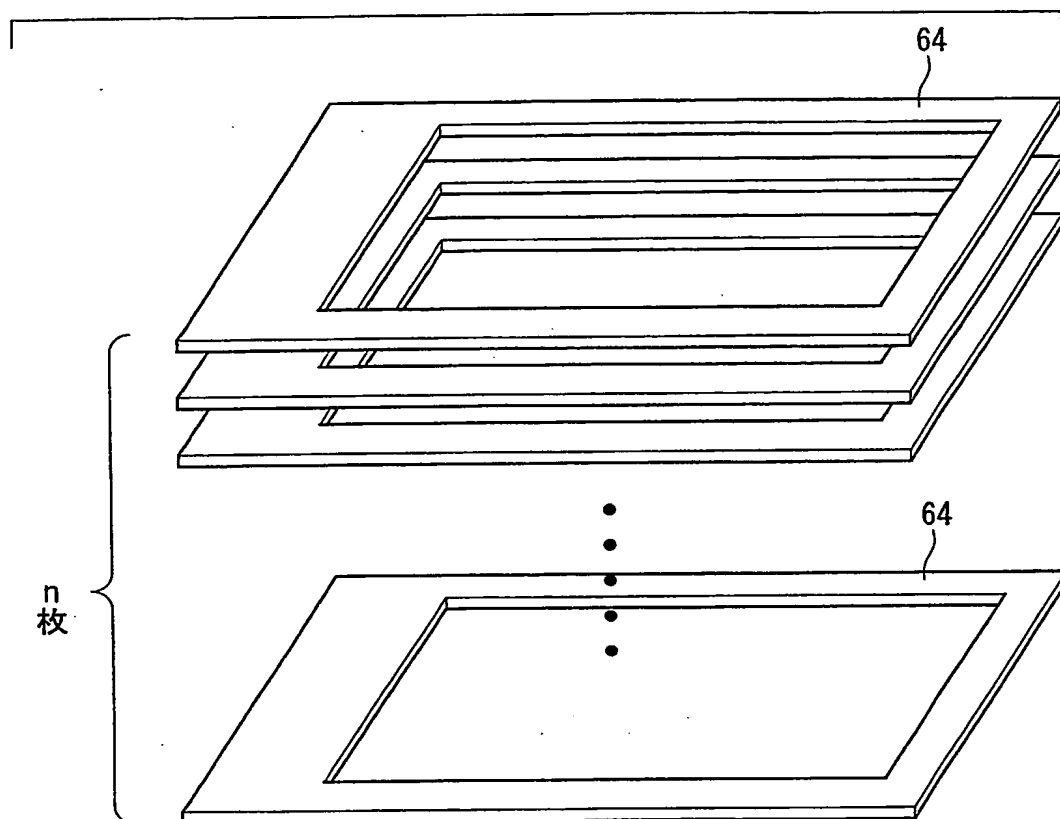
THIS PAGE BLANK (USPTO)

FIG. 4



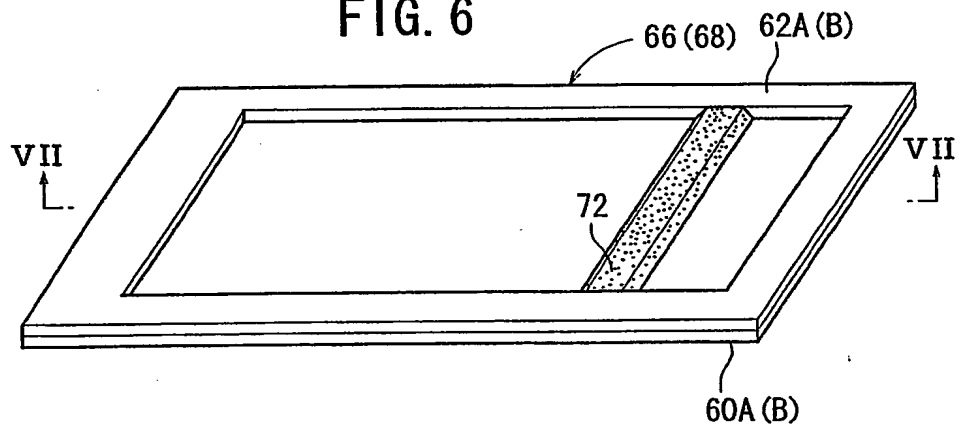
THIS PAGE BLANK (USPTO)

FIG. 5



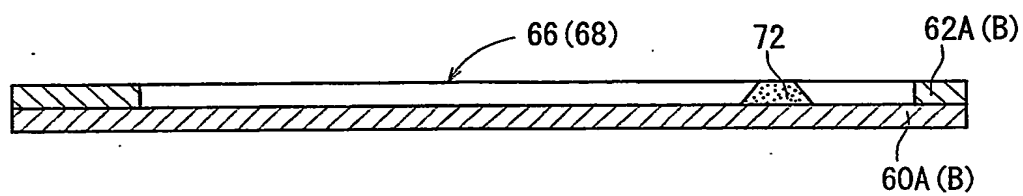
THIS PAGE BLANK (USPTO)

FIG. 6



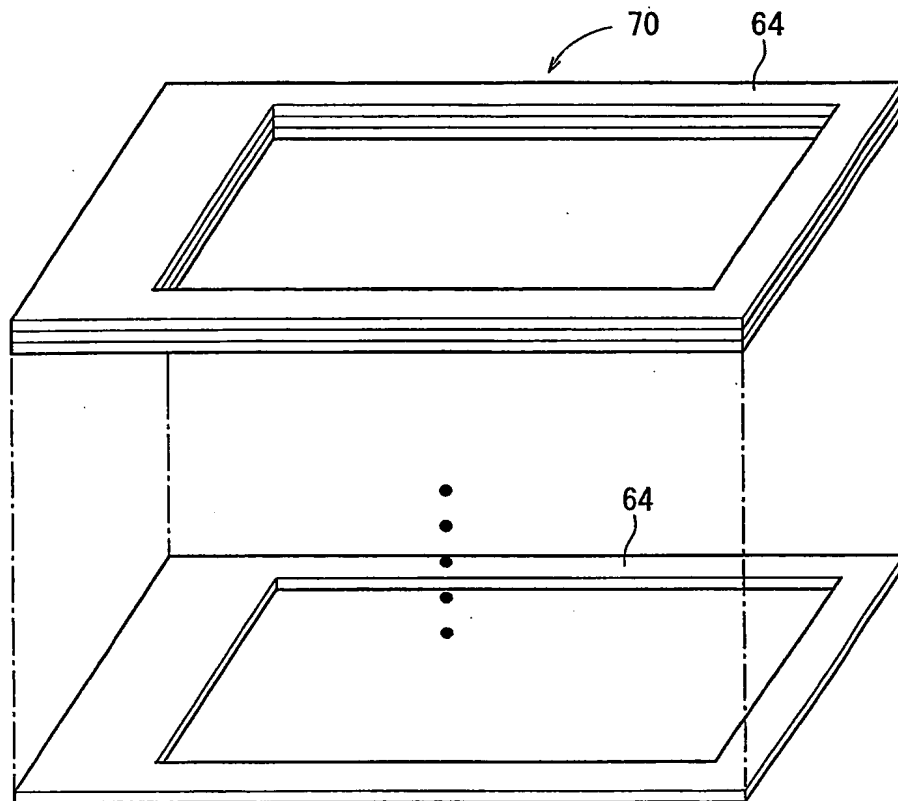
TUIC DAGE RI ANK (USPTO)

FIG. 7



THE RICE RI ANK (USPTO)

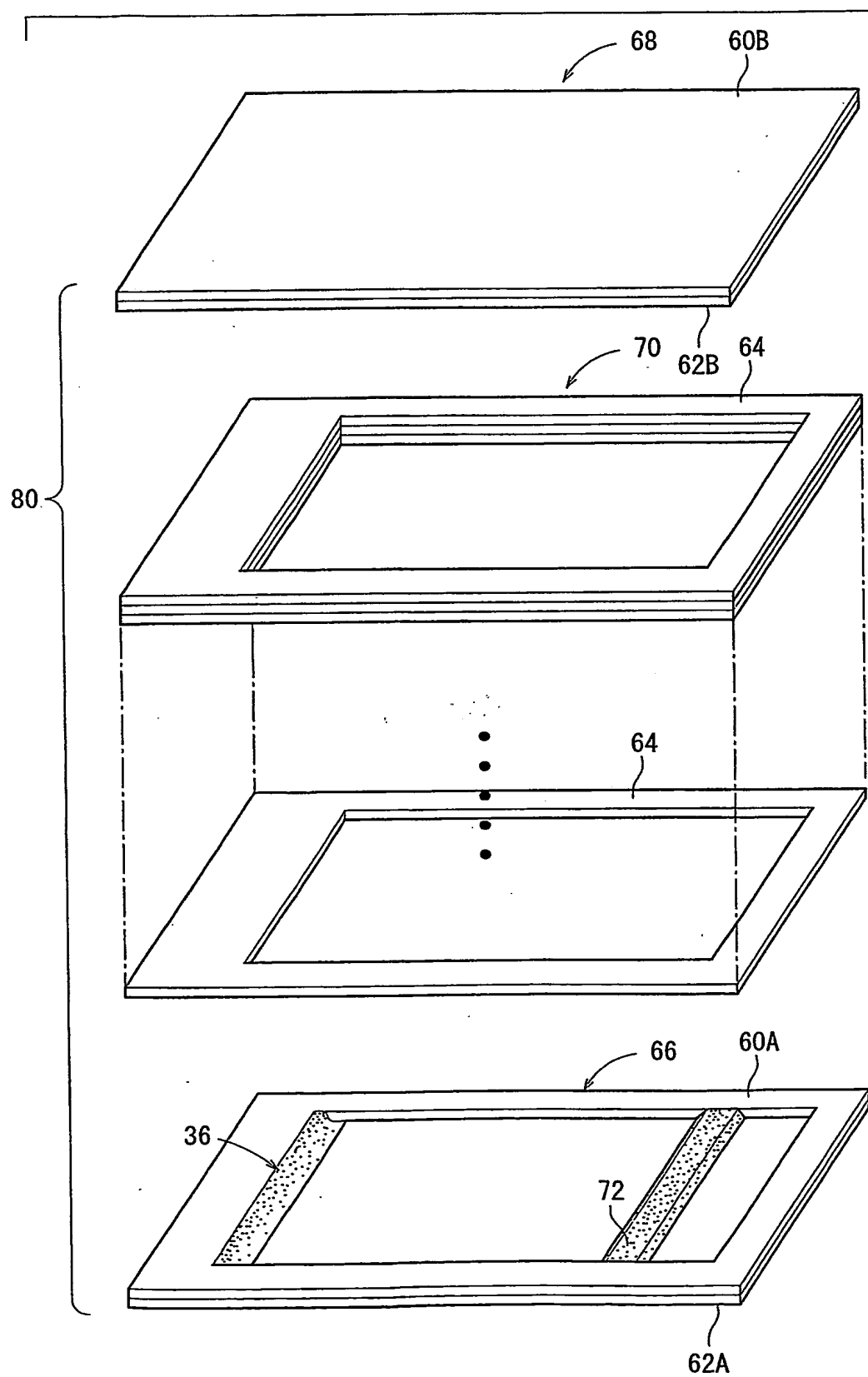
FIG. 8



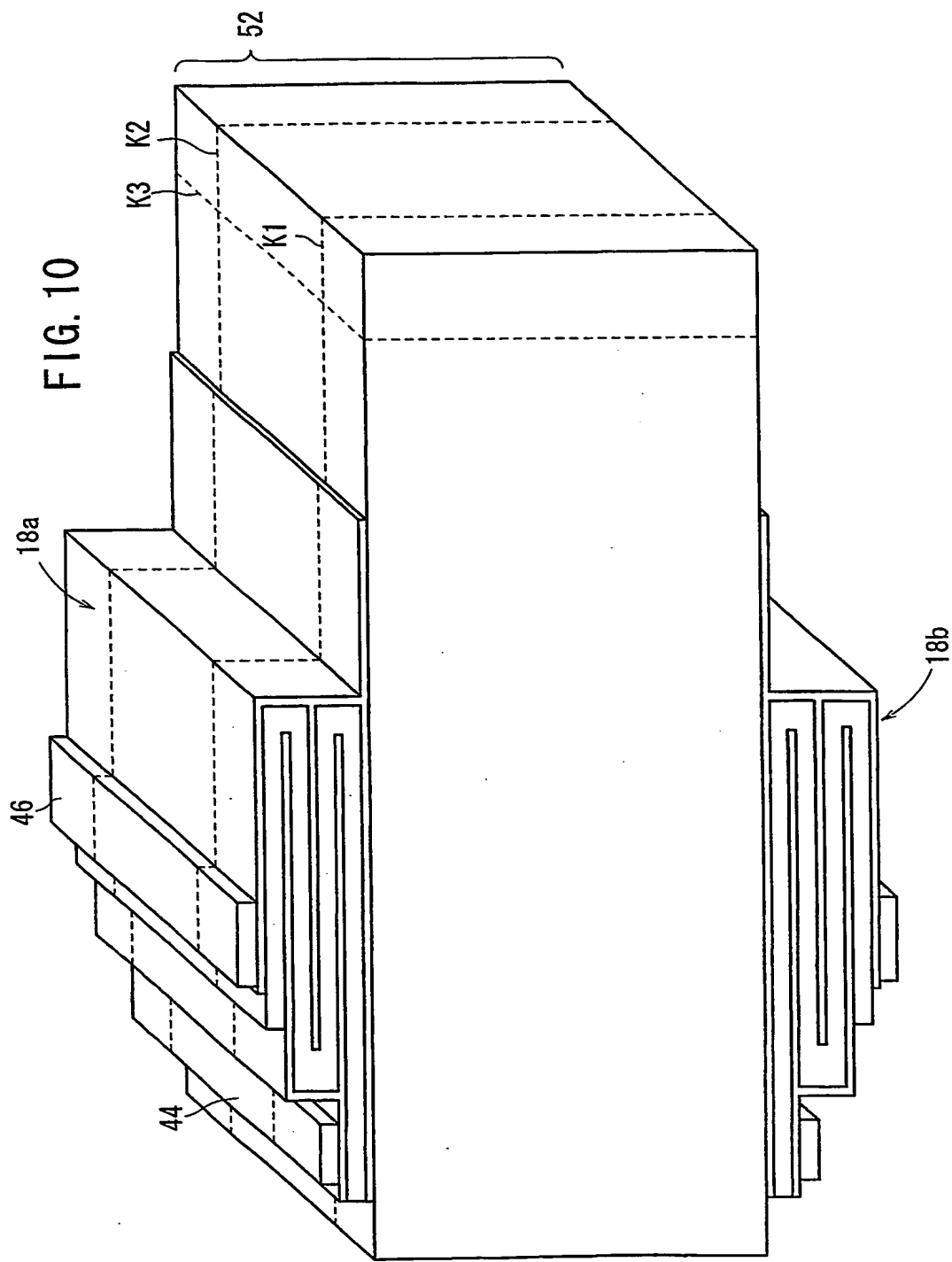
THIS PAGE IS ANK (USPTO)

9/18

FIG. 9



THIS PAGE BLANK (USPTO)



TWO PAGE BLANK (USPTO)

THIS PAGE BLANK (USPTO)

FIG. 12A

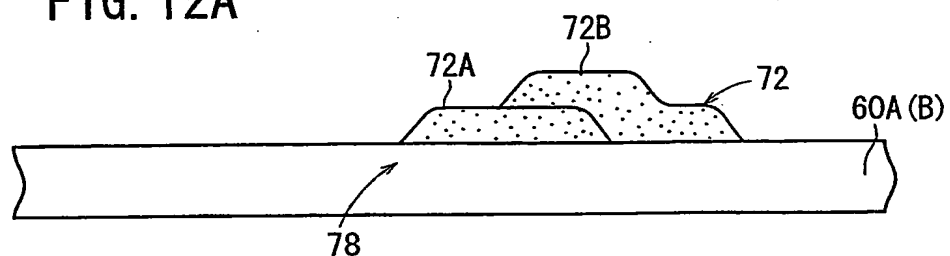
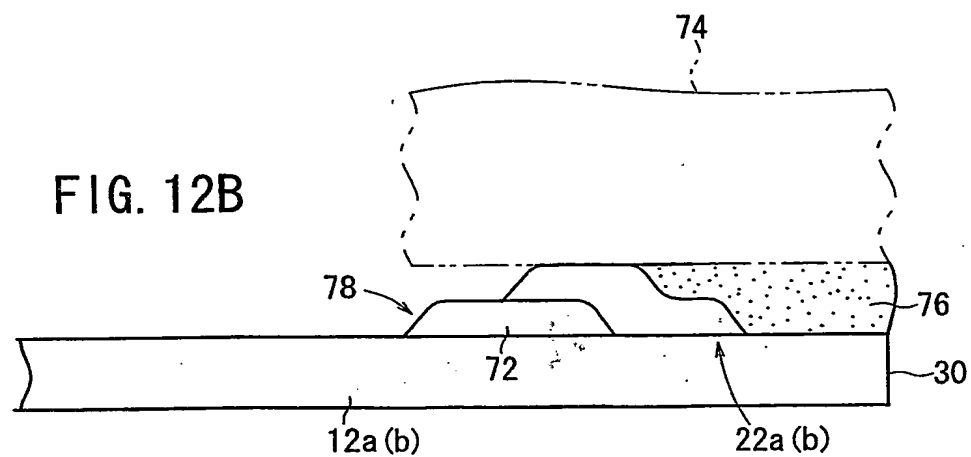


FIG. 12B



THIS PAGE RI ANK (11SPT0)

FIG. 13A

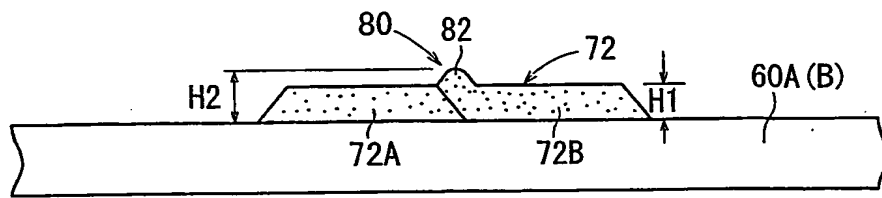
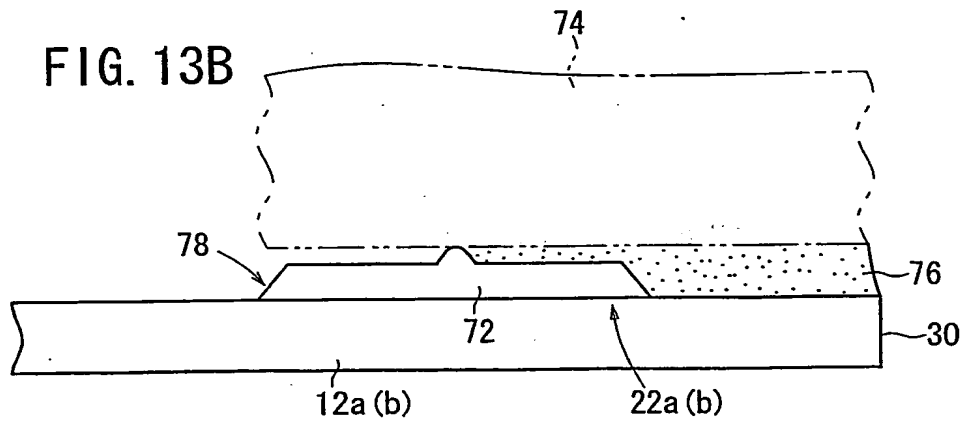


FIG. 13B



THIS PAGE BLANK (USPTO)

FIG. 14A

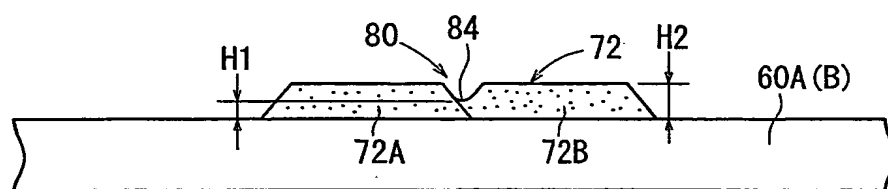
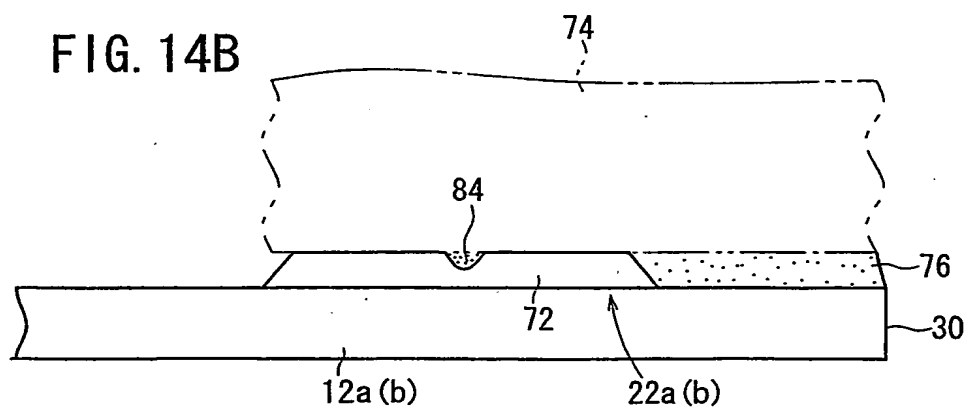


FIG. 14B



THIS PAGE BLANK (USPTO)

FIG. 15A

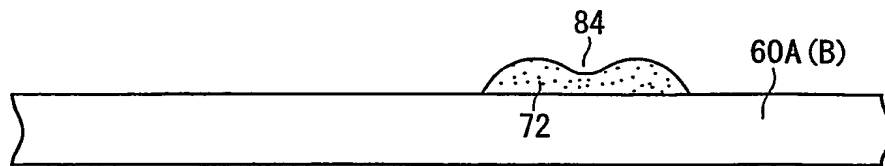
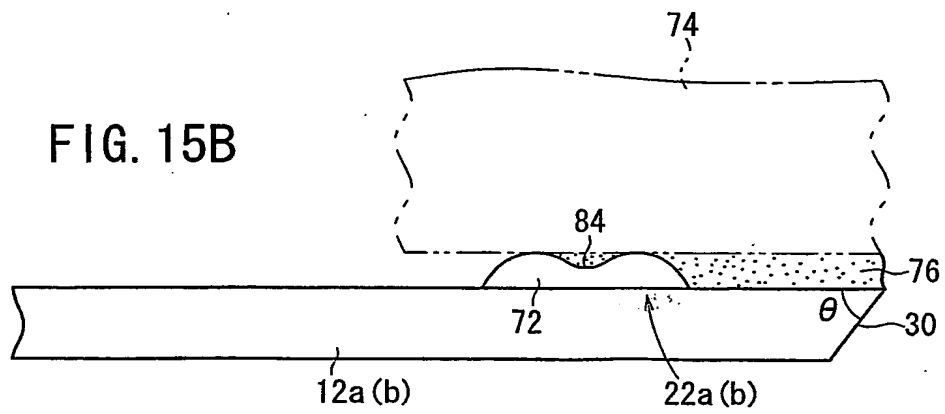


FIG. 15B



THIS PAGE BLANK (USPTO)

16/18

FIG. 16

サンプル	ペースト粘度 (万cps)	印圧 (kPa)	押込み量 (mm)	スキャン硬度 (°)	乳剤厚 (μ m)	突起部膜厚 (μ m)	突起部形状
1	10	100	0.5	70	25	10	図11A参照
2	20	100	0.8	80	30	10	図15A参照
3	10	50	0.5	70	30	15	図11A参照
4	20	100	0.8	80	35	15	図15A参照
5	10	50	0.3	70	40	20	図11A参照
6	30	100	0.8	80	50	20	図15A参照

THIS PAGE BLANK (USPTO)

FIG. 17A

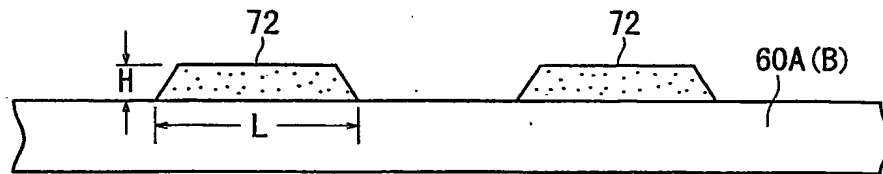
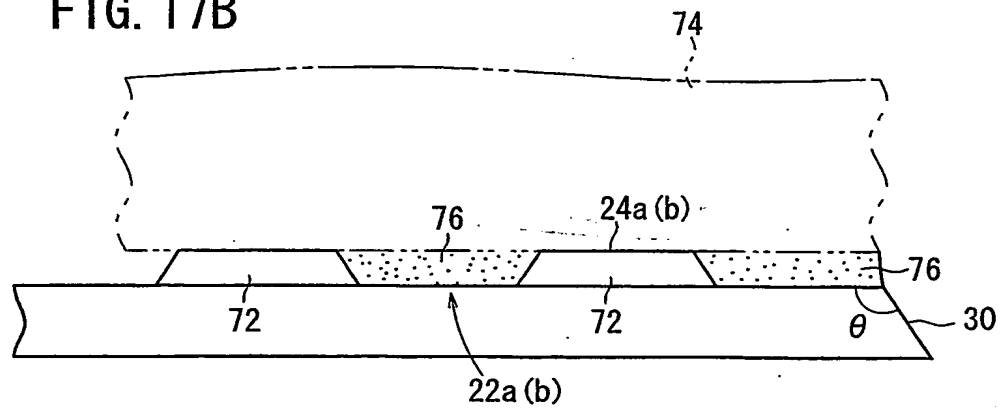


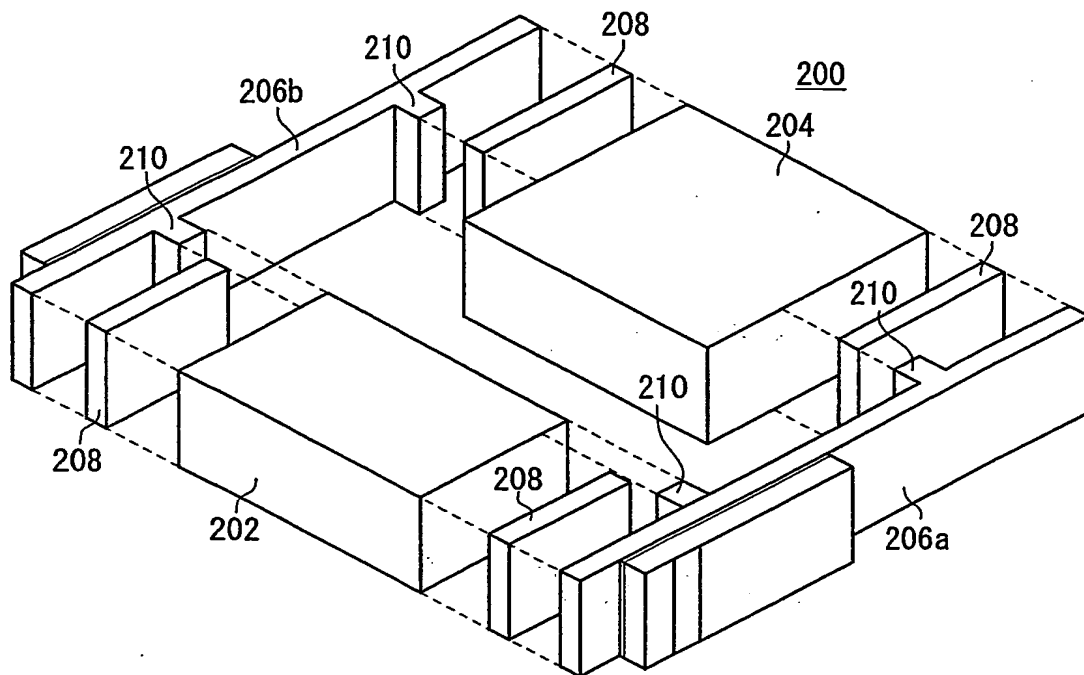
FIG. 17B



THIS PAGE BLANK (USPTO)

~~**THIS PAGE BLANK (USPTO)**~~

FIG. 18



THIS PAGE BLANK (USPTO)

~~THIS PAGE BLANK (USPTO)~~

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP02/09297

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ H01L41/24, 41/08

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ H01L41/24, 41/08, H02N2/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1926-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2002
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2002	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2002

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

JOIS

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 1089359 A (NGK INSULATORS, LTD.), 04 April, 2001 (04.04.01), Full text & JP 2001-315099 A Full text & JP 2001-315100 A Full text & JP 2001-320099 A Full text & JP 2001-320103 A Full text	1-15

☐

Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐

See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T"

later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X"

document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y"

document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&"

document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
11 December, 2002 (11.12.02)Date of mailing of the international search report
24 December, 2002 (24.12.02)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

THIS PAGE BLANK (USPTO)

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl⁷ H01L41/24, 41/08

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl⁷ H01L41/24, 41/08, H02N2/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926-1996年

日本国公開実用新案公報 1971-2002年

日本国実用新案登録公報 1996-2002年

日本国登録実用新案公報 1994-2002年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

JOIS

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	EP 1089359 A (NGK INSULATORS, LTD) 2001.04.04, 全文 & JP 2001-315099 A, 全文 & JP 2001-315100 A, 全文 & JP 2001-320099 A, 全文 & JP 2001-320103 A, 全文	1-15

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

11.12.02

国際調査報告の発送日

24.12.02

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

井原 純



4M

9354

電話番号 03-3581-1101 内線 3462

THIS PAGE BLANK (USPTO)